

## ENSAIOS E EXPERIMENTOS NA ANÁLISE DA FRAGILIDADE DOS AMBIENTES NATURAIS: O PENETRÔMETRO DE PERCUSSÃO

Jurandyr Luciano Sanches Ross\*

### ABSTRACT

The subject of this work is telling about the begging of the Geomorfology Laboratory Rearches of the USP Geography Department. It is to evaluate the differents of the resistence of the stake penetration for the differents kinds of the relief and soil. The

percussion penetrometer was create for us. We have a model SPT-Standart Penetration Test. It is used in perforation and of the soil by civil engineering.

Keywords: Relief; Fragility; Penetration Test.

### 1 – SENSO COMUM E AS CONTRADIÇÕES ENTRE O COLETIVO E O INDIVIDUAL

Tomando-se como suporte de entendimento, que os ambientes naturais são definidos pela relação intrínseca de troca de energia e matéria entre as componentes da natureza, e que a fragilidade das partes desses ambientes são em primeiro lugar uma percepção humana e em segundo, resultantes das diferenças de intensidade dos fluxos de energia inter e intra componentes quer com interferência humana ou não, o grande desafio que se impõe está em estabelecer parâmetros, mecanismos de análise, medições e controle dos fluxos de energia e matéria. No âmbito da análise empírica, pode-se perceber que muitos são os métodos de avaliação da fragilidade potencial de um determinado ambiente, dentro da perspectiva da utilização dos recursos naturais pelas sociedades humanas. O principal recurso analítico utilizado pelos pesquisadores têm historicamente sido as observações pontuais aleatórias ou desenvolvidas de forma sistemática. Tais procedimentos são de grande valor científico e exigem aguçada capacidade intuitiva do cientista e boa formação teórico-conceitual.

As sociedades humanas, ao longo da construção de sua história social, econômica, política e cultural, foram progressivamente apropriando-se dos recursos naturais através de mecanismos tecnológicos cada vez mais aprimorados, e simultânea e contraditoriamente fazendo inserções nos ambientes naturais quase sempre extremamente desprovidas de racionalização seletiva de usos. O resultado deste descompasso entre processo de desenvolvimento tecnológico associando-se à intensificação do uso dos recursos naturais e, o descuido com a conservação da natureza, permitiram que os conhecimentos empíricos sobre as fragilidades dos ambientes naturais evoluíssem e progressivamente fossem sendo dimensionados. Na atualidade, é conhecimento de senso comum, que terras planas e baixas são vulneráveis às inundações temporárias de frequências diversas, ou que morros/vertentes muito inclinadas em ambientes tropicais úmidos são susceptíveis aos processos de deslizamentos, ou que ao lançar elevadas cargas de resíduos industriais, domésticos ou ainda de atividades rurais nos rios, lagos e oceanos tornam suas águas

---

(\*) Professor Doutor do Depto. de Geografia/USP.



de má qualidade. Entretanto, para que estes exemplos e muitos outros transformassem-se em conhecimento de senso comum, foi preciso muito tempo, muito desperdício de recursos, de trabalho humano e até perda de milhares de vidas.

Se muitos conhecimentos a respeito das fragilidades potenciais dos ambientes naturais são do domínio do senso comum, porque então continua-se a ter tantos problemas de mal uso dos recursos naturais, quer seja em aglomerados urbanos, áreas rurais e sobretudo nas fronteiras de expansão urbana e agrícola? Certamente, porque o homem é um voraz predador das riquezas da natureza, e as leis que regem seu comportamento social não são obviamente o do respeito pelos bens comuns. Há uma enorme distância entre o que é definido pelo senso comum, como bom para a coletividade a médio e longo prazos, e o que é de grande importância a curto prazo para cada um dos indivíduos dessa mesma coletividade. Como as sociedades humanas são extremamente complexas, pois são constituídas por indivíduos, o que aparenta ser válido para o coletivo não o é obrigatoriamente para grande parcela de indivíduos, pois dentro de um mesmo universo social os interesses individuais são difusos, e isto é válido para qualquer nível social ou cultural. Em outras palavras, é de senso comum que ao se construir habitações em terras planas e baixas, corre-se o risco de sofrer com as inundações; entretanto vêem-se, por todo o país, áreas ricas e preferencialmente as pobres implantadas nesses sítios, ou ainda fortes adensamentos urbanos tanto de ricos quanto de pobres em vertentes muito inclinadas nos morros em áreas de grandes cidades no Brasil e em outras partes do globo. Emerge aqui novamente uma grande contradição entre os interesses coletivos e os individuais. Essas "áreas de risco", que pelo conhecimento empírico caracterizam-se como potencialmente frágeis, com o adensamento de uso, a fragilidade passa de potencial para emergente, pois os acidentes previsíveis freqüentemente acabam acontecendo. Quando isto se dá, volta-se para o coletivo, pois aquilo que foi uma atitude individual ou de um pequeno grupo com interesses ime-

diatos transforma-se em um problema público e portanto de toda a sociedade, ou seja, do coletivo.

## 2 – DO EMPÍRICO-INTUITIVO AO EMPÍRICO-EXPERIMENTAL

No processo do conhecimento humano sobre os comportamentos da natureza, o volume de dados progressivamente gerados e incorporados ao conhecimento da comunidade culturalmente mais bem informada, sobretudo a científica, é muito grande, extremamente diversificado e principalmente especializado. A geração dos conhecimentos técnico-científicos, ao mesmo tempo que se transformam em importantíssimos instrumentos de interesse público, apresentam-se cada vez mais herméticos à medida que se apresentam como conhecimentos ultra-especializados e de domínio restrito. Assim, há um paradoxo, pois ao mesmo tempo que se precisa cada vez mais dos conhecimentos técnico-científicos para um melhor aprimoramento das relações da sociedade com a natureza, há um distanciamento acentuado entre a realidade social da grande maioria da humanidade e aquilo que seria, nessa relação, o ótimo desejável. Assim, tais conhecimentos não atingem suficientemente a sociedade, que talvez até por insuficiência dos instrumentos institucionais, estes acabam por surtir pouco efeito na desejável utilidade social. De qualquer modo, quer seja por imposição de políticas de planejamento do uso das terras e portanto dos recursos naturais ou ainda por esclarecimentos genéricos passados pelos sistemas de divulgação coletivos, ainda resta alguma utilidade de aplicação desses conhecimentos. O que se deseja, entretanto, é uma maximização de seu uso através de consistentes políticas públicas de gestão de uso das terras e dos recursos naturais, dentro de uma perspectiva de bens de interesse coletivo, ainda que estejam em limites territoriais de propriedades privadas.

Tem sido, ao longo da história da humanidade, sempre um grande desafio estabelecer mecanis-



mos de conhecimento e controle daquilo que vulgarmente se conhece como as calamidades provocadas pelos acidentes naturais. Os homens tendem somente a respeitar a natureza quando ela manifesta-se de forma catastrófica, pois nestes casos fica evidenciada a incapacidade de dominação. E é justamente por causa dos efeitos catastróficos de determinados episódios geotectônicos e climáticos, que ao imprimirem aceleração de processos geomórficos e também causarem enormes prejuízos sociais, que têm sido criados estímulos individuais e coletivos para ampliarem-se as pesquisas sobre as questões das fragilidades dos ambientes naturais.

É dentro desta perspectiva que se desenvolvem pesquisas empíricas baseadas em observações sistemáticas, pesquisas baseadas em procedimentos técnicos de mapeamento sistemático, pesquisas com aplicação de experimentos em campo, pesquisas com experimentos de laboratório e promove-se o desenvolvimento de modelos matemáticos aplicáveis para análise de processos naturais. Face as peculiaridades do desenvolvimento da história das ciências, sobretudo a partir do final do Século XIX, o volume de conhecimento produzido no âmbito das Geociências é extremamente grande porém extremamente desarticulado. Vários setores ou ramos dessa ciência são desenvolvidos por profissionais oriundos de diferentes formações, e apesar dos múltiplos objetivos de cada um desses ramos, há áreas de interesse comum, que deveriam aglutinar esses profissionais no sentido de convergir idéias, trocar e ampliar conhecimentos. Nas geociências, que envolvem os ramos de ensino, pesquisa e aplicação, pode-se arrolar algumas disciplinas/ciências tradicionalmente consolidadas como a geologia, geomorfologia, pedologia, hidrologia e climatologia e as ligadas a biociências. Embora cada um destes ramos trate de conteúdos que se interrelacionam e são de absoluta interdependência, cada uma delas têm seu objeto de análise, e desenvolveu métodos próprios de pesquisa, face seus objetivos. Aquelas disciplinas/ciências que demonstraram desde cedo serem de extrema utilidade aos interesses econômicos das sociedades humanas, como a geo-

logia, a pedologia e a hidrologia, tiveram grande avanço técnico-científico e sobretudo ampliaram seus leques de atuação face as demandas criadas. Nesse rol de disciplinas/ciências irmãs, na área de engenharia civil desenvolveu-se, também em função da demanda, a disciplina de mecânica dos solos que tem como objeto principal estudar/analisar a resistência dos solos para as obras de engenharia civil, a que se denomina de estudos geotécnicos. Nas escolas de Geologia, além da preocupação com as pesquisas voltadas para o conhecimento dos recursos minerais, desenvolveu-se periféricamente a geologia de engenharia, justamente para avançar na direção de melhor fundamentar os estudos de mecânica de solos, pois as características físicas dos solos têm extrema relação de dependência com as características das rochas que lhe dão origem, sem desconsiderar evidentemente as influências climáticas. O ramo aplicado da geologia à engenharia evoluiu, sobretudo nos institutos de pesquisas aplicadas, como no Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo bem como em outros países da Europa, para sistemas de mapeamentos geotécnicos voltados para aplicações no planejamento urbano. Ao evoluir nesta direção, os estudos geotécnicos elaborados por profissionais formados em geologia incorporaram outros conceitos e informações metodológicas que conscientemente ou não foram importados da geomorfologia, pedologia, climatologia e hidrologia. Assim, as cartas geotécnicas procuraram espacializar e ampliar o espectro de pesquisa e aplicação, frente as análises geotécnicas pontuais que são desenvolvidas pela engenharia especificamente para cada obra civil.

A pedologia, que embora tenha seus princípios básicos desenvolvidos na Europa, ganhou grande importância nos Estados Unidos da América, face aos levantamentos acompanhados de mapeamentos sistemáticos. A pedologia desenvolveu como seu principal objeto de estudo os tipos e características físicas e químicas dos solos, muito associado a influência climática e menos preocupado com as bases geológicas. O centro das atenções das pesquisas pedológicas foi o de estabelecer uma tipologia



de solos em função sobretudo de seu aproveitamento agrícola. Neste sentido procurou-se aprimorar as análises físicas e sobretudo as químicas, para atender cada vez melhor as demandas das atividades dos agricultores e dos Estados/Nações interessados no desenvolvimento da agricultura de grande escala. Paralelamente, outras aplicações foram sendo desenvolvidas pela pedologia ainda de interesse imediato à questão da fertilidade dos solos para a agricultura. Neste viés destacam-se sobretudo as pesquisas voltadas para os problemas de erosão dos solos, pon-do-se em ressaltado o desenvolvimento de técnicas de controle de perdas de solo através de experimentos como a instalação de parcelas monitoradas para medir infiltração d'água e erosão de solo.

Desenvolveu-se nesta linha de pesquisa modelos matemáticos como por exemplo a Equação Universal de Perdas de Solos, que é amplamente utilizada nos diagnósticos sobre erodibilidade dos solos para fins agrícolas.

A geomorfologia, que tem como objeto de estudo as formas de relevo e sua gênese, sempre desenvolveu-se à retaguarda da geologia e da pedologia, face sua aplicabilidade ou utilidade não ser reconhecida popularmente. É de senso comum que as formas de relevo apresentam aclives, declives, são muito inclinados, pouco inclinados, são muito altas, ou são baixas ou são morros ou são planos. É também de percepção fácil saber se um determinado terreno, face ao seu relevo, é mais ou menos favorável às práticas agrícolas, se é fácil ou difícil construir uma estrada, um aeroporto, um campo de futebol ou uma habitação. O que não é senso comum, entretanto, é conhecer os mecanismos morfogenéticos e morfodinâmicos responsáveis pela dinâmica das formas do relevo. E está justamente aí a importância do papel aplicado da geomorfologia. Não basta reconhecer se o relevo tem esta ou aquela forma, se são colinas, morros, escarpas, planícies, montanhas, cordilheiras, serras, terraços, de diferentes dimensões e idades, mas é preciso entender como estas formas desenvolveram-se, como chegaram a tais formatos, quais são os agentes intervenientes no processo gerador das mesmas, e como isto se articula com as bases lito-

estruturais, com as coberturas pedológicas, com as características climáticas locais e regionais, com a cobertura vegetal e sobretudo com as mais diversas inserções humanas. Deste modo, a geomorfologia, por estar na interface da litosfera com a atmosfera, só pode ser entendida dentro desta concepção, e sua aplicabilidade passa não só pelo simples reconhecimento de tipos de formas de relevo, mais favoráveis ou desfavoráveis as diferentes inserções humanas, mas principalmente pela resposta possível que a morfodinâmica dará às intervenções/modificações efetuadas sem as devidas precauções. E, neste sentido, têm sido freqüentes os erros cometidos por serviços de engenharia civil, que, tomando apenas como referencial o modelado das formas, executam obras civis, onde as condições morfodinâmicas não suficientemente valorizadas, revelam desagradáveis surpresas.

### **3 – ENSAIOS E EXPERIMENTOS: TENTATIVAS DE DEFINIR PARÂMETROS**

A sociedade moderna, cada vez mais intensamente tecnificada, praticamente exige para todos os ramos de atividades a definição clara de parâmetros técnicos, limites, padronização, que a partir do momento em que são estabelecidos, tornam-se extremamente rígidos, verdades incontestáveis, transformando-se em verdadeiras leis da técnica e da ciência. As pesquisas científicas “correm atrás” para encontrar respostas às suas perguntas e também, produzir um volume grande de experimentos e análises empíricas para chegar-se a denominadores comuns, ou seja, encontrar os parâmetros que definem as regras gerais de um determinado evento ou processo. No campo das geociências, sobretudo no que interessa especificamente à geomorfologia e aos solos, há inúmeros procedimentos técnico-operacionais, que, ao serem adotados como linhas de trabalho, procuram encontrar respostas a eventos naturais ou induzidos pelos homens, que se apresentam como “perigos” ou problemas de curto, médio



ou longo prazos. Assim, são objetos de estudos mais freqüentes os problemas relativos aos processos erosivos pluviais, aos movimentos de massa, também conhecidos como escorregamentos ou deslizamentos de terra, problemas com inundações e assoreamentos. Estes espectros, objetos de análise, podem ser trabalhados por uma grande gama de procedimentos técnico-operacionais, que têm como objetivos fornecer respostas quantificáveis ou não a respeito dos resultados das energias atuantes em cada porção da matéria analisada. Em outras palavras, quando se deseja, por exemplo, entender os mecanismos e resultados de processos erosivos pluviais de um determinado local, procura-se "cercar o problema" executando-se uma série de procedimentos técnicos, que certamente darão um resultado analítico, supostamente correto para aquele local. Esses procedimentos técnicos abrangem quase sempre todas as componentes naturais que diretamente participam do referido processo. Assim, é preciso analisar as características físico-químicas dos solos em seus vários aspectos (textura, estrutura, grau de coesão das partículas, plasticidade, umidade, porosidade, permeabilidade, tipos de argilas, morfologia dos grãos, etc.); analisar o ritmo, intensidade e quantidade das chuvas, as características do relevo em seus aspectos morfológicos, morfométricos e morfogenéticos e os tipos de uso, ocupação e manejo das terras. Todo esse trabalho para chegar-se a resultados que são somente válidos para aquela área onde a pesquisa foi efetuada, e para as condições técnicas pré-estabelecidas. Assim sendo, os resultados analíticos de pesquisas experimentais, por mais que estas sejam tecnicamente sofisticadas, serão sempre limitados e ou circunscritos às condições muito específicas, face à extrema variabilidade das características do relevo, da base litológica, dos solos, das precipitações pluviométricas e dos tipos de coberturas vegetais.

Diante do exposto, parece à primeira vista que qualquer pesquisa experimental, então, somente tem utilidade para aquele local, onde a mesma fora efetuada. É evidente que não, pois apesar das diferenças de resultados de cada lugar, face suas caracterís-

ticas específicas, há níveis de correlações que podem ser estabelecidos. Tomando-se alguns exemplos de resultados de pesquisas desenvolvidas no Instituto Agrônomo de Campinas pela equipe de Bertoni & Lombardi Neto (1985) para erosão de solos, pode-se ter razoáveis níveis de correlação entre os tipos de uso da terra e os tipos de textura de solos mantendo-se algumas variáveis fixas. O exemplo toma como variáveis fixas as declividades entre 8,5 a 12,8% e índices pluviométricos anuais de 1300mm/a:

#### Usos da Terra perdas de solos (t/ha/a)

Feijão	38,1
Amendoim	26,7
Arroz	25,1
Soja	20,1
Milho	12,0
Cana de Açúcar	12,4

Esses resultados, embora não especifique as características dos tipos de solos onde tais experimentos tenham sido desenvolvidos, mostram claramente que alguns tipos de cultivos são mais prejudiciais à conservação dos solos do que outros. Outro exemplo apresentado pelos autores refere-se às perdas de solos em função de suas características texturais. Nesse experimento manteve-se como variáveis fixas o uso da terra (que não está especificado), as declividades que oscilam entre 8,5 e 12,8% e o índice pluviométrico de 1300mm/a. Os resultados foram:

Tipos de solos	Perdas de solo (ton/ha/a)
Arenoso (Podzolizado)	21,1
Argiloso (Podzólico Vermelho-amarelo)	16,6
Argiloso (Latossolo Roxo/Terra Roxa)	9,5

Conforme pode-se perceber, nestes dados fica bem marcada a diferença de comportamento dos tipos de solos, destacados aqui pela textura, quanto aos desgastes pela ação das águas pluviais. Assim, independente do tipo de uso do solo que se deseja fazer, de antemão sabe-se que os problemas



maiores de erosão deverão ser encontrados em solos arenosos e menores nos solos argilosos e, portanto, as medidas preventivas de controle contra a erosão para um e outro deverão ter cuidados diferenciados.

Nas pesquisas voltadas para os chamados movimentos de massa, ou deslizamentos de terra, são freqüentes os estudos partirem de fatos consumados. São exemplos de trabalhos que seguiram tal princípio o de Cruz (1974) sobre os escorregamentos ocorridos na Serra do Mar em Caraguatatuba-SP no ano de 1967, o de Baccaro (1982), referentes aos escorregamentos na Serra do Mar no vale do rio Cubatão em Cubatão-SP, o de Colangelo (1990) sobre os escorregamentos na borda da represa de Paraibuna no rio Paraibuna-São Paulo entre outros. Todas as pesquisas nessa linha partem de fatos ocorridos em um determinado ano e procuram respostas aos eventos constatados através de mapeamentos sistemáticos, levantamentos detalhados de campo, análise diária de dados pluviométricos, análises laboratoriais de amostras de solos coletadas no campo, bem como experimentos aplicados nos locais de ocorrência dos eventos.

Tanto os trabalhos de pesquisa desenvolvidos através da aplicação de experimentos controlados, ou de pesquisas a partir de fatos constatados, têm como preocupação definir mecanismos de prevenção, controle, ou ainda de correção. Nesta direção, muitos trabalhos de pesquisas básicas fecham-se em si mesmas quando o pesquisador ou pesquisadores concluem o diagnóstico, ou seja, conseguem encontrar respostas parciais ou totais às perguntas que fizeram ao desenvolver os projetos de pesquisa. Toda pesquisa parte de perguntas, que se consubstanciam em hipóteses de trabalho e que portanto definem o objeto de análise. Está, entretanto, implícito que todo resultado de pesquisa básica deverá ter alguma utilidade social ou seja alguma aplicabilidade de interesse coletivo. Diante disto, os projetos de pesquisa a serem implementados devem ter essa dimensão claramente definida. Assim sendo, este autor, quando colaborou com

os serviços de orientação técnico-científica à equipe de pesquisadores da CETESB nos anos de 1990/91 para desenvolvimento de trabalho na serra do Mar em Cubatão-SP, teve desde início a preocupação de imprimir ao projeto a sua aplicabilidade. A pesquisa desenvolvida pelos pesquisadores Luiza Saito Junqueira Aguiar e Roney Perez dos Santos, além de estagiários e outros colaboradores, partiu de fatos consumados relativos às 583 cicatrizes de escorregamentos mapeadas pelos mesmos na área objeto de pesquisa ou seja os vales dos rios Moji, Quilombo e Cubatão.

A pesquisa desenvolveu-se com dois principais objetivos, primeiro o de "cercar o problema" procurando respostas às perguntas: Por que ocorreram tantos escorregamentos em um pequeno espaço de tempo? Por que os escorregamentos concentraram-se mais em determinadas áreas da escarpa da serra do Mar? E o segundo objetivo chegar-se a um produto analítico-sintético que pudesse mostrar de modo espacializado no território as áreas de diferentes níveis de riscos de desestabilização, ou seja, propensas aos novos processos de movimentos de massa. Para o primeiro objetivo, partiu-se do mapeamento das cicatrizes dos escorregamentos ocorridos, desenvolvendo-se vários documentos de cartografia temática como cartas hipsométrica, clinográfica (declividades), morfológica, geológica, vegetação e uso da terra, orientação de vertentes e análise pluviométrica. Para o segundo objetivo, desenvolveu-se um trabalho de análise correlativa entre os dados do mapeamento dos escorregamentos com os dados obtidos dos mapas temáticos desenvolvidos, chegando-se a produtos organizados em tabelas e uma cartografia de síntese que define uma prognose das potencialidades dos riscos de desestabilização, a que se denominou Carta Morfodinâmica. Esse produto, fruto das correlações de informações desenvolvidas no mapeamento sistemático e dos levantamentos de campo, caracterizou-se por um documento de significativa utilidade social, à medida que informa o poder público diretamente interessado e a comunidade



científica em geral, quais são as áreas e as condições naturais que mostram-se mais estabilizadas e as potencialmente mais instáveis e portanto de maior risco. Embora os resultados desta pesquisa não tenham sido publicados, estando apenas relatado através de Relatório Técnico Interno, tomamos a liberdade de mostrar aqui alguns resultados parciais por acreditarmos na importância da democratização da informação e na valorização dos autores e instituições produtoras de dados.

Alguns resultados do diagnóstico dessa pesquisa são altamente significativos, como seguem: dos 583 escorregamentos identificados, 541 ocorreram nos setores retilíneos das vertentes; o maior número deles estão entre 150 e 750m de altitude, 557 deles ocorreram entre 15 e 35 graus de inclinação; 120 estavam em áreas de rochas tipo micaxisto, 362 em migmatitos e apenas 31 em granitos. Correlacionando-se tais escorregamentos com a cobertura vegetal, nas áreas de matas naturais primárias ocorreram apenas 16 escorregamentos, contra 386 em matas degradadas pela poluição atmosférica e pela ação humana. Nas capoeiras e sobretudo nas áreas cobertas com gramíneas nativas os eventos foram bem menos numerosos.

O cruzamento ou correlação dessas informações permitiram identificar superfícies de terreno com diferentes níveis de instabilidade potencial e emergente bem como possibilitou aprimorar os parâmetros definidores dos riscos potenciais de escorregamentos para a Serra do Mar em áreas fortemente impactadas pelas atividades humanas e especificamente da poluição industrial de Cubatão-SP.

Conforme pode-se verificar, há duas principais linhas de produção de dados relacionados aos processos erosivos/denudacionais de forte impacto em ambientes tropicais úmidos: processos erosivos lineares e laminares pluviais e processos de movimentos de massa ou escorregamentos de terra. Há entretanto muita dificuldade de definir-se parâmetros que possam utilizar de forma integrada as informações geradas pelas pesquisas produzidas nessas duas linhas básicas.

#### 4 – Ensaio para Análise da Fragilidade Potencial do Relevo

Entenda-se como fragilidade potencial do relevo, a potencialidade que um determinado tipo de forma de relevo, sustentada por uma específica litologia, associando-se a um determinado tipo de cobertura pedológica, em ambientes tropicais úmidos, têm de sofrer processos erosivos lineares ou laminares por influência do escoamento superficial das águas pluviais ou ainda por pressão hidrostática exercida pela concentração de água em horizontes subsuperficiais do manto de alteração, que desencadeiam movimentos de massa ou escorregamentos de terra.

Nos ambientes naturais pouco ou nada alterados pelas intervenções humanas, a tendência é ter-se na relação relevo, litologia, solos, cobertura vegetal e dinâmica climática o equilíbrio dinâmico, ou seja, uma estabilidade não estática. Nos processos de evolução dos ambientes naturais, face as mais diversas associações entre os diferentes componentes da natureza, desenvolvem-se infinitas fisionomias de "paisagens naturais", cada uma delas com características específicas de formas de relevo, tipos de solos, litologia, vegetação, clima, águas, fauna e para complicar ainda mais diferentes sociedades humanas. Medir as intensidades dos fluxos de energia e matéria entre essas componentes, para entender sua funcionalidade e avaliar sua potencialidade como recurso natural e sua fragilidade face as múltiplas intervenções humanas é algo que ainda não se conseguiu em sua totalidade. Deste modo, as pesquisas privilegiam um determinado espectro dessa funcionalidade, que tomam como objeto de análise e, de correlação, para com as demais componentes. Entre as correlações freqüentemente privilegiadas nos estudos de geomorfologia estão as da relação relevo x solo e condições pluviométricas. Nessas correlações são aplicados diferentes testes de laboratório e vários ensaios e experimentos de campo principalmente para os solos e cartografiação de fisionomias de formas e medidas das mesmas em campo para o relevo. No



âmbito dos solos para efeito de avaliar sua fragilidade potencial aos processos erosivos e movimentos de terra assume muita importância conhecer-se “os estados de consistência” do solo procurando-se determinar os limites de liquidez, o índice de plasticidade, o grau de coesão das partículas ou resistência ao cisalhamento, a textura das partículas, porosidade, permeabilidade, densidade ou massa específica das partículas entre outras. Para as formas do relevo, a morfologia de cada setor de vertentes, suas declividades, suas extensões ou comprimentos e sobretudo suas correlações com os tipos de litologias e coberturas pedológicas.

Em função dos objetivos para os quais as pesquisas são desenvolvidas, adota-se este ou aquele método de análise experimental. Na engenharia civil desenvolveu-se e continua-se aplicando muito os métodos de análise de mecânica de solos, com a preocupação central de avaliar os solos do ponto de vista de sua sustentabilidade para implantação de obras de engenharia civil. A geologia de engenharia, preocupada em fornecer subsídios às grandes obras de engenharia civil e implantação de núcleos urbanos, desenvolveu a cartografia geotécnica com suporte nos conceitos básicos de geologia e nos princípios dinâmicos da geomorfologia, não valorizando os ensaios experimentais de campo da geotecnia da engenharia civil. Assim sendo, embora na agronomia, na geografia (geomorfologia), na geologia e na engenharia civil, desenvolvam-se pesquisas técnicas e básicas que praticamente utilizam o mesmo objeto de análise (relação relevo, solo, litologia, chuvas), cada qual o faz com métodos desenvolvidos independentemente e com objetivos muito específicos.

Seguindo a linha da cartografia geomorfológica de abordagem dinâmica, proposta por Tricart (1977), e adaptada por Ross (1990) para as chamadas Cartas Morfodinâmicas ou Ecodinâmicas ou ainda para as Cartas de Fragilidade Potencial e Emergente do Relevo, propostas por Ross (1994), através dos ensaios cartográficos desenvolvidos no Laboratório de Geomorfologia do Departamento de Geografia da FFLCH-USP com alunos estagiários e de

pós-graduação, chegou-se à necessidade de avançar na direção de aferir, através de ensaios experimentais de campo, os resultados empírico-analíticos encontrados com os mapeamentos sistemáticos. Assim, decidiu-se aplicar alguns testes de laboratório como análise granulométrica, limite de liquidez, plasticidade e ensaios experimentais de campo como taxa de infiltração e teste de resistência de penetração de estacas, e testes de penetração *do pocket penetrometer*. Esses experimentos estão sendo aplicados inicialmente em áreas em processo de urbanização na Região Metropolitana de São Paulo, em relevos muito dissecados sustentados por rochas cristalinas da faixa do cinturão orogênico do atlântico.

Os ensaios experimentais de campo são desenvolvidos preferencialmente nos seguintes aspectos: medir diretamente no local a umidade do solo, a taxa de infiltração e o grau de resistência à penetração de estaca e do pino do *pocket penetrometer*. Para as medições no campo da umidade do solo será empregado um aparelho em modelo digital que fornecerá diretamente os resultados da umidade constante no solo do local submetido à medição. Para medir a taxa de infiltração recorreu-se à metodologia desenvolvida pelo IPH/UFRS-Instituto de Pesquisa Hidráulica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que consiste na utilização de um equipamento simples desenvolvido pelos pesquisadores dessa instituição. Esse equipamento compõe-se por um trado e um conjunto composto por haste de ferro, trena e bóia que são instalados na borda da boca da perfuração onde são adicionadas quantidades conhecidas de água, cronometrando-se os níveis de rebaixamento por um determinado tempo e volume de água adicionada.

Para medir o grau de resistência de penetração de estaca, desenvolveu-se no Laboratório de Geomorfologia do departamento de Geografia da FFLCH-USP, um equipamento, a que pode-se designar de Penetrômetro de Percussão, que tem como finalidade implantar estaca de aço no solo por impactos de percussão. Este equipamento, projetado



no laboratório de geomorfologia em 1995 por este pesquisador, recebeu a colaboração e acompanhamento de sua confecção do pesquisador Silvio Carlos Rodrigues. O equipamento consiste de um tripé com comprimento de 3 metros, com uma das pernas de altura regulável, possui no vértice uma roldana por onde apóia-se a corda que sustenta e permite a elevação do peso (martelo) que é lançado sobre a estaca. O martelo, que se constitui de um cilindro de ferro preenchido de concreto tem 16 Kg de peso e, a estaca de aço maciço tem comprimento de 1,40 metros e diâmetro de 3 cm.



Foto 1 – Operação do Penetrômetro de percussão após fixação da estaca até 20 cm de profundidade, a mesma passa a receber impactos de 16 kg lançados de 1,20 m de altura da plataforma de impactos posicionada na cabeça da mesma.

O teste de resistência de penetração a percussão, consiste em aplicar impactos do peso levantado pela corda com apoio na roldana, sobre uma plataforma encaixada na cabeça da estaca de aço. Estabeleceram-se, a partir dos ensaios experimentais os seguintes procedimentos:

1 – Seleção dos locais dos testes de resistência de penetração a partir de mapeamento geomorfológico prévio;

2 – Escolha do ponto de instalação do equipamento e regulagem de uma das pernas em função da declividade da vertente naquele ponto;

3 – Fixação da estaca até atingir 20 cm de profundidade e posicionada precisamente no prumo do peso (martelo).

4 – Aplica-se a partir daí até 20 impactos sobre a estaca e a cada 5 impactos mede-se a profundidade de penetração da mesma.

5 – A altura da queda livre do martelo deve ser constante, e nos ensaios experimentais utilizou-se a distância de 1,20 metros entre a base do cilindro (martelo-peso 16 Kg) e a cabeça da estaca.

6 – Após a aplicação do teste de penetração, retira-se a estaca do solo através de perfuração lateral com trado.

Este equipamento por nós desenvolvido baseou-se no modelo de Sondagens a Percussão, do sistema SPT-Standard Penetration Test utilizado nas sondagens para obras de engenharia civil, que apresenta outras dimensões e a estaca de penetração constitui-se por um tubo de aço que também recolhe amostras dos solos perfurados. Conforme Teixeira (1993), in *Mesa Redonda – Solos do Interior de São Paulo*, tal equipamento está com suas especificações técnicas regulamentadas no Brasil pela ABNT, através da NBR-6484/1980 e que o equipamento normatizado pela International Reference Test Procedure for the Standard Penetration Test da I.S.S.M.F.E. (1989) apresenta especificações técnicas semelhantes, porém diferentes. Como tínhamos que



dispor de um equipamento razoavelmente fácil de ser transportado, e como ainda não dispúnhamos dos dados técnicos específicos dos equipamentos similares utilizados, praticamente inventamos suas dimensões e especificações em função dos nossos objetivos.

Também está aplicando-se para cada horizonte de solo os testes de penetração do pino do penetrômetro de bolso. Este equipamento industrializado nos USA é de fácil manuseio e de fácil transporte. Está sendo usado com o objetivo de correlacionar-se os resultados entre os dois tipos de penetrômetros.

## BIBLIOGRAFIA

- BACCARO, C. A. D. *OS Processos de Movimentos de Massa e a Evolução das vertentes na Serra do Mar em Cubatão – SP* – Dissertação de Mestrado – FFLCH-USP – 165p. São Paulo, 1983.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. *Conservação do Solo-Livro Cores*. Piracicaba, 1985
- BIGARELLA, J. J. & MAZUCHOWSKI, J. Z. *Visão Integrada da Problemática da Erosão*. Livro Guia do 3º Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Maringá, 1985.
- CANDURO, F. A. & DORFMAM, R. *Manual de Ensaios de Laboratório e de Campo para Irrigação e Drenagem* IPH- Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS. Porto Alegre, 1986.
- CASSETTI, W. *Ambiente e Apropriação do Relevo*. São Paulo, Contexto, 1991.
- CETESB – CIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – *Análise Morfodinâmica da Serra do Mar na Região de Cubatão – SP* – In: Relatório Técnico. São Paulo, 1991.
- COLÂNGELO, A. C. *Movimentos de Massa e Evolução Geomorfológica das Vertentes Marginais no Lago da Barragem de Paraibuna- Município de Paraibuna – SP* – Dissertação de Mestrado – FFLCH-USP – 118 p. São Paulo, 1990.
- CRUZ, O. A Serra do Mar e o litoral na Área de Ubatuba – IGEOG – USP – 181p. São Paulo, 1974.
- IAC – INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS- *Perdas por Erosão no Estado de São Paulo*. Boletim Técnico Bragantia nº 47. Campinas, 1961.
- ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. In: *Revista do Depto. de Geografia* nº 8. FFLCH-USP. São Paulo, 1994
- ROSS, J. L. S. Análises e Sínteses na Abordagem Geográfica para o Planejamento Ambiental, In: *Revista do Depto. de Geografia* nº 9 FFLCH-USP. São Paulo, 1995
- ROSS, J. L. S. *Geomorfologia, Ambiente e Planejamento*. São Paulo, Contexto. 1991.
- TEIXEIRA, G. H. *Um aperfeiçoamento das sondagens de Simples Reconhecimento à Percussão*, In: *Mesa Redonda – Solos do Interior de São Paulo*. São Carlos, 1993.